

تهیه نقشه‌های نیاز آبی ذرت با مقایسه روش‌های زمین‌آماری و قطعی

محمد اسماعیل کمالی¹، علیرضا فریدحسینی^{2*}، حسین انصاری³، محمدعلی غلامی سفیدکوهی⁴

تاریخ دریافت: 1395/4/15 تاریخ پذیرش: 1395/8/15

چکیده

در این تحقیق تهیه نقشه نیاز آبی ذرت در استان مازندران مدنظر قرار گرفت. نیاز آبی ذرت در دوره‌های 10 روزه به روش دو مرحله‌ای فائو در موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی بدست آمد. تبخیر- تعرق مرجع (ETO) به روش فائو- پنمن- مانیت و با استفاده از داده‌های 51 ایستگاه هواشناسی محاسبه شد. ضرایب گیاهی نیز در 4 مرحله رشد مدنظر قرار گرفت. برای تعیین تابع رفتاری داده‌ها، آنالیز روند و ناهمسانگردی انجام شد. پس از محاسبه نیم‌تغییرنمای تجربی و انتخاب بهترین مدل نیم‌تغییرنما بر اساس کم‌ترین مقدار مجموع باقی‌مانده مربعات (RSS)، داده‌ها با روش‌های قطعی شامل وزن‌دهی عکس فاصله، توابع پایه شعاعی، چند جمله‌ای سراسری و چند جمله‌ای موضعی و روش‌های زمین‌آماری از خانواده کریجینگ درون‌یابی شدند. خطای درون‌یابی با استفاده از تکنیک اعتباریابی متقابل بدست آمد و نشان داد که روش‌های چند جمله‌ای سراسری و کریجینگ معمولی نتایج مشابهی را دارا و بهتر از سایر روش‌ها بودند. نقشه‌ها نشان دادند که بیش‌ترین مقدار ETO در ماه مرداد و 4/05-4/78 میلی‌متر در روز و کم‌ترین مقدار آن در ماه دی و 1/05-1/27 میلی‌متر در روز بدست آمد. همچنین بیش‌ترین مقدار نیاز آبی ذرت علوفه‌ای در تیرماه و 4/27-5/15 میلی‌متر در روز و برای ذرت دانه‌ای در دهه اول مرداد و 4/41-5/21 میلی‌متر در روز بدست آمد. نیاز آبی محاسباتی و پیش‌بینی شده ذرت علوفه‌ای برای ایستگاه دشت ناز در این تحقیق از نتایج کتاب مرجع 45/8 و 45 درصد کم‌تر است. همچنین نیاز آبی محاسباتی و پیش‌بینی شده ذرت دانه‌ای برای ایستگاه دشت ناز در این تحقیق از نتایج سند ملی 71/9 و 75 درصد بیش‌تر است.

واژه‌های کلیدی: تبخیر-تعرق، توزیع مکانی، درون‌یابی، نیم‌تغییرنما، GIS

مقدمه

ذرت از غلات مهم و پرمحصول در تغذیه بوده و از مهم‌ترین گیاهان تامین‌کننده انرژی و پروتئین می‌باشد. در دنیا و در بین غلات، ذرت بعد از گندم و برنج از لحاظ اقتصادی و سطح زیر کشت مقام سوم را داراست. ولی از نظر کل تولید مقام اول را دارد (FAO, 2013). در ایران ذرت به عنوان یک گیاه جدید در سال 1349 با تاسیس بخش تحقیقات ذرت و علوفه در موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر مورد توجه قرار گرفت. کشت ذرت با توجه به تنوع آب و هوایی در بسیاری از مناطق ایران و همچنین بعد از برداشت غلات قابل گسترش است. در استان مازندران کشت ذرت بیش‌تر به منظور تهیه علوفه است. آمار سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران نشان می‌دهد که سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای در سال 1394 به میزان

4500 هکتار و میزان تولید 202 هزار و پانصد تن با میانگین عملکرد 45 تن در هکتار بود. عمده‌ترین نیاز استان در بخش علوفه نیز ذرت علوفه‌ای است. نیاز سیلو در استان مازندران یک میلیون و 500 تن است که سالانه بیش از 800 هزار تن کمبود علوفه در استان مشاهده می‌شود که بخش زیادی از آن کمبود ذرت علوفه‌ای است. با توجه به کشت و رشد این گیاه در ماه‌های گرم سال، اصلی‌ترین موضوع در کشت آن، تامین آب مورد نیاز گیاه است که در صورت تامین، می‌توان هم در جهت افزایش سطح زیر کشت و هم افزایش تولید و عملکرد گام‌های موثری برداشت. کمبود آب موجب کاهش عملکرد ذرت از سه طریق می‌شود 1- کل جذب تشعشع فعال فتوسنتزی به وسیله تاج گیاه را در اثر محدودیت توسعه برگ، پژمردگی موقت، لوله شدن یا پیری زودرس آن در طول دوره کم‌آبی کاهش می‌دهد. 2- باعث کاهش کارایی مصرف نور می‌شود که عامل محدودکننده مهم در عملکرد ذرت تحت تنش است. 3- عملکرد دانه ذرت را به وسیله کاهش در شاخص برداشت (نسبت ماده خشک محصول که به دانه تخصیص داده می‌شود) کاهش می‌دهد (Earl and Davis, 2003). نیاز آبی یکی از مولفه‌های اصلی بیلان آب است و برآورد آن به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری امری ضروری می‌باشد. برآورد

- 1 - دانشجوی دکترای علوم و مهندسی آب، آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - 2- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - 3- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - 4- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- (* - نویسنده مسئول: Email: farid-h@um.ac.ir)

نیز پیش نیاز برنامه‌های توسعه کشاورزی پایدار است. برای نیل به این هدف، باید نقشه‌های توزیع مکانی نیاز آبی تهیه گردد. زیرا عناصر اقلیمی در زمان و مکان تغییر پیدا می‌کنند و با دور شدن از محل ایستگاه‌های هواشناسی، مقادیر محاسبه شده نیاز آبی در محل ایستگاه‌های هواشناسی به تندی یا به آرامی، به صورت خطی یا غیرخطی تغییر می‌کند و قابلیت انتساب خود به نقاط دور از محل اندازه‌گیری را از دست می‌دهند. بنابراین ضروری است که مقادیر نیاز آبی برآورد شده در محل ایستگاه‌های هواشناسی را با روش‌های مختلف از حالت نقطه‌ای به حالت منطقه‌ای تعمیم داد که این امر میزان خطای برآورد نیاز آبی در نقاط فاقد ایستگاه هواشناسی را کاهش می‌دهد. در گذشته درون‌یابی با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک، میانگین حسابی و رگرسیونی انجام می‌گرفت که این روش‌ها سریع و آسان می‌باشند (Dean and Snyder., 1977; Creutin and Oblad., 1982; Sousa and Pereira., 1999). در نظر نگرفتن موقعیت داده‌ها و همبستگی مکانی آن‌ها، باعث ایجاد خطا در انجام درون‌یابی می‌شود (Goovaerts., 1997 and Christakos., 2000). از این‌رو ماترون، درون‌یابی بر اساس آنالیز مکانی داده‌ها را پیشنهاد داده است (Matheron., 1963). آنالیز مکانی به دو روش قطعی و زمین‌آماری می‌باشد (Boken et al., 2004). روش‌های قطعی بر اساس تعیین سطح از نقاط نمونه‌گیری شده و بر پایه شباهت‌ها (مانند روش وزن‌دهی عکس فاصله) یا درجه هموارسازی (مانند توابع پایه شعاعی، چند جمله‌ای سراسری و چند جمله‌ای موضعی) انجام می‌شود. این روش‌ها مدل فرایندهای مکانی تصادفی را مورد استفاده قرار نمی‌دهند. اما روش‌های زمین‌آماری مانند انواع کریجینگ، خواص آماری نقاط نمونه‌گیری شده را در نظر گرفته و با استفاده از فرایندهای تصادفی با همبستگی مکانی، آن‌ها را به صورت مدل در می‌آورند (Johnston et al., 2003).

روش‌های قطعی نیز خود به دو دسته تقسیم می‌شوند: روش‌های موضعی (Local) و روش‌های سراسری (Global). روش‌های قطعی سراسری مانند روش درون‌یابی چند جمله‌ای سراسری¹ (GPI) از کل داده‌ها برای درون‌یابی استفاده می‌کنند. در حالی که روش‌های موضعی مانند روش‌های درون‌یابی چند جمله‌ای موضعی² (LPI)، وزن‌دهی عکس فاصله³ (IDW) و توابع پایه شعاعی⁴ (RBF) فقط از داده‌های موجود در یک همسایگی برای درون‌یابی استفاده می‌کنند. همچنین ممکن است در روش‌های موضعی مقادیر پیش‌بینی شده در نقاط نمونه‌برداری با مقادیر واقعی آن یکسان نباشند. اگر مقادیر پیش‌بینی شده در نقاط نمونه‌برداری با مقادیر واقعی آن یکسان باشند، آن‌ها

بیش از حد آب مورد نیاز گیاه، علاوه بر هدر دادن آب آبیاری، باعث ماندابی شدن اراضی، شستشوی مواد غذایی خاک و آلوده نمودن منابع آب زیرزمینی می‌شود و برآورد کم‌تر نیز باعث اعمال تنش رطوبتی به گیاه و در نتیجه کاهش محصول می‌شود. نیاز آبی گیاه باید در زمان مناسب و به مقدار صحیح تامین شود. در نتیجه محاسبه نیاز آبی امری ضروری است. کارشناسان طراحی سیستم‌های آبیاری در ایران عموماً نیاز آبی گیاه را از دو مرجع که مقادیر نیاز آبی را برای محصولات مختلف و در نقاط مختلف کشور محاسبه کردند، دریافت می‌کنند که عبارتند از سند ملی آب ایران (بی نام، 1378) و کتاب مرجع "برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور" (فرشی و همکاران، 1376). با توجه به این که مقادیر محاسبه شده نیاز آبی در این مراجع مربوط به دوره‌های 20 الی 30 ساله قبل از سال انتشار بوده و شرایط آب و هوایی طی این سال‌ها تغییر کرده است، این محاسبات نیازمند به‌روزرسانی هستند. همچنین نیاز آبی ذرت در سند ملی و کتاب مرجع فقط در یک منطقه (دشت ناز ساری) محاسبه شد و در سند ملی فقط برای ذرت دانه‌ای محاسبات انجام شد که در یک دوره 103 روزه، مقدار آن را 268 میلی‌متر برآورد نمود و در کتاب مرجع فقط برای ذرت علوفه‌ای محاسبات انجام شد که در یک دوره 144 روزه مقدار آن را 591/2 میلی‌متر محاسبه نمود. این در حالی است که در استان مازندران دوره رشد ذرت علوفه‌ای تقریباً 90 روز و دوره رشد ذرت دانه‌ای تقریباً 120 روزه است. همچنین پژوهشی در استان خراسان نشان داد که تبخیر - تعرق مرجع (ETO) تقریباً 47٪ نسبت به نتایج سند ملی آب تغییر کرده است (عرفانیان و همکاران، 1389). همچنین نتایج تحقیقی در استان فارس نشان داد که نیاز آبی گندم، جو، ذرت، چغندر، قند، آفتابگردان، لوبیا، گوجه فرنگی و سیب زمینی تغییرات زیادی نسبت به نتایج سند ملی داشته است (فولادمنند، 1390). در نتیجه در این مطالعه تعیین نیاز آبی ذرت در استان مازندران با استفاده از داده‌های به‌روز شده مدنظر قرار گرفت.

نیاز آبی برابر با تبخیر - تعرق گیاه در نظر گرفته می‌شود و به دو روش مستقیم و غیرمستقیم برآورد می‌گردد (Allen et al., 1990). در روش مستقیم نیاز آبی را می‌توان با استفاده از دستگاه‌هایی مانند لایسیمتر و یا روش بیلان رطوبتی خاک بدست آورد. در روش غیرمستقیم نیاز آبی از روش دو مرحله‌ای فائو بدست می‌آید که حاصل ضرب ضریب گیاهی محصول (Kc) در تبخیر - تعرق مرجع (ETO) است (Allen et al., 1990). اثر متقابل فاکتورهای اقلیمی از قبیل دما، رطوبت نسبی و سرعت باد و نیز ویژگی‌های گیاهی از جمله نوع گیاه و مرحله رشد آن سبب شده است تا تبخیر - تعرق به صورت پدیده‌ای غیرخطی و پیچیده بیان شود. با توجه به زمان‌بر بودن و نقطه‌ای بودن برآورد در روش مستقیم، اصولاً از روش غیرمستقیم جهت محاسبه نیاز آبی در برنامه‌ریزی‌های آبیاری استفاده می‌شود (شریفان و قهرمان، 1385). تعیین میزان نیاز آبی در مقیاس منطقه‌ای

1- Global Polynomial Interpolator
2- Local Polynomial Interpolator
3- Inverse Distance Weighted
4- Radial Basis Functions

استفاده کرد یا ابتدا داده‌ها را روندزدایی⁶ کرد و سپس برای داده‌های روندزدایی شده (باقی‌مانده)⁷ از روش کریجینگ معمولی استفاده کرد (Matheron., 1969 ; Motz and Searcy., 1993). کریجینگ شاخص (Journel., 1983 ; Goovarets., 1997) تعیین می‌کند که مقدار پیش‌بینی شده از یک مقدار مشخص بیش‌تر یا کم‌تر است. کوکریجینگ (Journel and Huijbregts., 1978 ; Isaaks and Srivastava., 1989) نیز از یک متغیر کمکی که با داده اصلی همبستگی دارد برای بهبود تخمین‌ها استفاده می‌کند. با توجه به مطالب بیان شده و شرایط این تحقیق روش‌های کریجینگ ساده و کریجینگ شاخص در این تحقیق قابل استفاده نیستند.

روش کریجینگ یک تابع خطی از داده‌های مشاهده‌ای در همسایگی نقطه مورد تخمین است که بهترین تخمین‌گر خطی ناریب با کم‌ترین واریانس است و معادله آن به صورت رابطه 2 می‌باشد.

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

که در آن $Z^*(x)$ مقدار پیش‌بینی شده برای داده واقعی $Z(x_i)$ در نقطه‌ای به مختصات x است و λ نیز وزن نسبت داده شده به متغیر Z در نقطه x_i است. کریجینگ به هر یک از نمونه‌های اندازه‌گیری شده وزنی را نسبت می‌دهد. البته این روش متکی بر میانگین متحرک وزنی است. بدین صورت که هرچه متغیر به مبدا نزدیک‌تر باشد، وزن آن بیش‌تر و هرچه فاصله نقاط دورتر باشد، وزن کم‌تر خواهد بود (Matheron., 1965). در این معادله ضرایب λ طوری تعیین می‌شود که میانگین مربع خطای تخمین کمینه گردد. همچنین این روش علاوه بر مقادیر پیش‌بینی شده، میزان خطای پیش‌بینی در هر نقطه را نیز مشخص می‌نماید. شایان ذکر است که جهت استفاده از روش کریجینگ معمولی، داده‌ها باید دارای توزیع نرمال باشند. در غیر این صورت ابتدا باید تابع توزیع داده‌ها به تابع توزیع نرمال تبدیل شود و سپس از روش کریجینگ معمولی استفاده شود (Webster and Oliver., 2001). علی‌رغم تمام مزایای روش کریجینگ، هموارسازی تغییرات⁸ در هنگام تخمین سبب می‌شود که واریانس مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقادیر مشاهده‌ای تغییرات کم‌تری داشته باشد که از این لحاظ هم با روش رگرسیون حداقل مربعات هیچ تفاوتی ندارد (Oliver and Webster., 2014). بنابراین هر کدام از روش‌های زمین آماری و قطعی مزایا و معایبی دارند و با توجه به این - که اختلاف بین روش‌های درون‌یابی بیش‌تر به نوع متغیر مورد مطالعه، مقادیر نمونه‌های در دسترس و معیارهای انتخاب شده برای درون‌یابی داده‌ها بستگی دارد تا به روش مورد استفاده جهت درون‌یابی و نیز روش‌های مختلف زمین آماری بسته به نوع متغیر،

درون‌یابی عینی یا دقیق (Exact) گویند مانند روش‌های IDW و RBF. اگر مقادیر پیش‌بینی شده در نقاط نمونه‌برداری با مقادیر واقعی آن یکسان نباشند، آنرا درون‌یابی غیرعینی یا غیردقیق (Inexact) گویند مانند روش‌های LPI و GPI. روش‌های IDW، LPI و GPI و روش‌های درون‌یابی سریعی هستند که به هیچ شرط یا فرضیه‌ای برای داده‌ها نیاز ندارند (Johnston, et. al., 2003).

زمین آمار شاخه‌ای از علم آمار است که در آن ساختار مکانی داده‌های نقطه‌ای با استفاده از فرایند مکانی و تصادفی مدنظر قرار می‌گیرد (حسینی پاک، 1377). روش‌های زمین آماری می‌توانند علاوه بر نقشه‌های توزیع مکانی، نقشه‌های خطا به همراه ویژگی‌های آماری داده‌های اندازه‌گیری شده را ارائه نمایند. روش‌های زمین آماری که عموماً مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل روش‌های کریجینگ معمولی¹، کریجینگ ساده²، کریجینگ عام³، کریجینگ شاخص⁴ و کوکریجینگ⁵ می‌باشند. معادله عمومی آن‌ها به صورت رابطه 1 است.

$$Z(s) = \mu + \xi(s) \quad (1)$$

که در آن $Z(s)$ مقدار متغیر در نقطه (s) ، μ میانگین متغیر که می‌تواند ثابت یا یک تابع چند جمله‌ای باشد و $\xi(s)$ خطای تصادفی است (Boken, et al., 2004; Oliver and Webster., 2014). کریجینگ ساده (Matheron., 1965) فرض می‌کند که میانگین منطقه‌ای تقریباً ثابت و برابر با میانگین کل است. این بدان معنی است که μ یک میانگین ثابت و مشخص است. بنابراین در هر نقطه، میانگین متغیر با داده‌های در یک همسایگی برای تخمین استفاده می‌شوند. اگر میانگین منطقه‌ای با میانگین متغیر برابر نباشد، روش مورد نظر روش کریجینگ معمولی (Matheron., 1965) یا کریجینگ عام (Matheron., 1969) خواهد بود. این بدان معنی است که میانگین متغیر نامشخص است و فقط داده‌ها در یک همسایگی برای تخمین در روش کریجینگ معمولی و کریجینگ عام استفاده می‌شوند (Boken, et al., 2004). روش کریجینگ عام وقتی استفاده می‌شود که یک تغییرات تدریجی در داده‌ها موجود باشد که به آن روند می‌گویند (Matheron., 1969 ; Motz and Searcy., 1993 ; Oliver and Webster., 2014). تخمین‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. وقتی که روند وجود داشته باشد، نیم‌تغییر نما به یک مقدار ثابت در حد فاصل داده‌ها نمی‌رسد. روند یک مولفه غیرتصادفی است که می‌تواند به صورت یک معادله ریاضی بیان شود. در نتیجه μ می‌تواند به وسیله معادلات ریاضی بیان شود. اگر روند در داده‌ها وجود داشته باشد، باید از روش کریجینگ عام

- 1- Ordinary Kriging
- 2- Simple Kriging
- 3- Universal Kriging
- 4- Indicator Kriging
- 5- Cokriging

6- Detrending

7- Detrended (Residual)

8- Smoothing

مناطق شمال شرقی استان قرار دارند، کم‌تر از 1700 میلی‌متر است و در 79 درصد از سطح استان ETo بیش از این مقدار و تا سقف 2032 میلی‌متر می‌باشد. از تحقیقات دیگری که در این زمینه انجام شده است می‌توان به تهیه نقشه‌های تبخیر - تعرق مرجع در استان گلستان با استفاده از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و IDW (گنجی‌زاده و همکاران، 1392)، برآورد مکانی و زمانی نیاز آبی گندم در دوره‌های آبی مختلف با استفاده از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و فاصله وزنی معکوس در استان همدان (بهبهانی و همکاران، 1387)، تهیه نقشه توزیع مکانی نیاز آبی گندم بهاره در حوزه رودخانه شیانگ در شمال غربی چین با استفاده از روش‌های کریجینگ معمولی، IDW و معادلات تجربی بر اساس نقشه DEM (Tong et al., 2007) و آنالیز منطقه‌ای نیاز آبیاری محصول سیب زمینی برای منطقه Tras-os-Montes در کشور پرتغال با استفاده از روش کریجینگ (Sousa and Pereira., 1999) اشاره نمود.

در تحقیقات مطالعه شده مشاهده گردید که عموماً از یک یا تعداد کمی روش‌های درون‌یابی استفاده شد و روش‌های مختلف زمین‌آماری و قطعی مقایسه نگردیدند. همچنین با توجه به مطالب بیان شده درباره محاسبات سند ملی و کتاب مرجع درباره نیاز آبی ذرت و نیاز به‌روزرسانی محاسبات نیاز آبی با استفاده از داده‌های جدیدتر، در این تحقیق ضمن انجام محاسبات نیاز آبی، درون‌یابی و تهیه نقشه‌های توزیع مکانی با روش‌های مختلف زمین‌آماری و قطعی انجام شده و در انتها مقایسه گردیدند.

مواد و روش‌ها

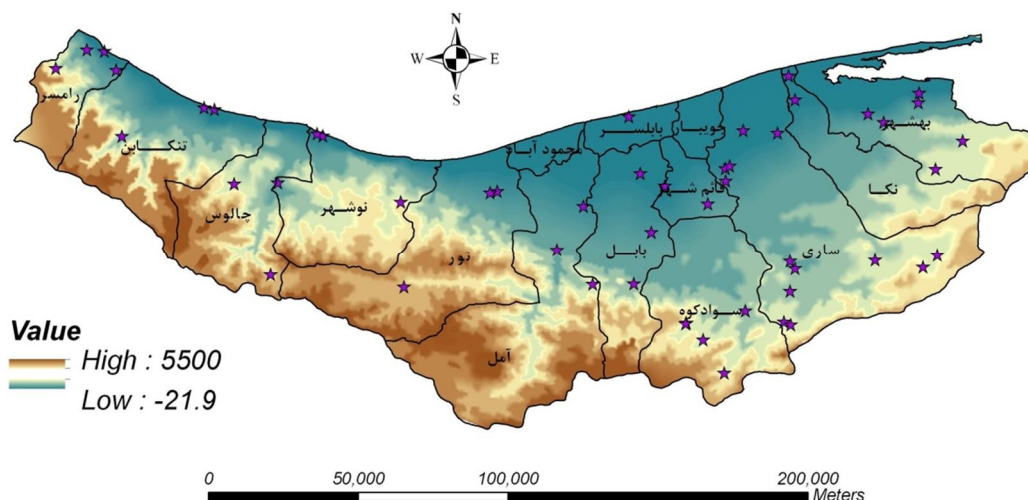
منطقه مورد مطالعه اراضی کشاورزی استان مازندران در شمال ایران و بین مختصات جغرافیایی 50 درجه و 34/17 دقیقه تا 53 درجه و 49/18 دقیقه شرقی و 36 درجه و 17/50 دقیقه تا 36 درجه و 58/00 دقیقه شمالی قرار گرفته است، ذرت در مناطق مختلفی کشت می‌شود. برای محاسبه نیاز آبی، داده‌های اقلیمی ده ساله سال‌های 1389-1380 مربوط به 51 ایستگاه هواشناسی (شامل 9 ایستگاه سینوپتیک، 11 ایستگاه کلیماتولوژی، 2 ایستگاه هواشناسی کشاورزی و 29 ایستگاه تبخیرسنجی) از اداره هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای مازندران جمع‌آوری شد (شکل 1) و نیاز آبی به روش دو مرحله‌ای فائو و از حاصل ضرب تبخیر - تعرق مرجع (ETo) در ضریب گیاهی (Kc) بدست آمد (Allen, et. al., 1990). ETo با استفاده از داده‌های اقلیمی به روش فائو - پنمن - مانیتث و با استفاده از نرم افزار CROPWAT8 محاسبه شد. سپس ضریب گیاهی در 4 مرحله از رشد و با استفاده از نشریه FAO56 (Allen et al., 1990) کتاب مرجع (فرشی و همکاران، 1376) و نظر کارشناسان تعیین شد. در این تحقیق تهیه نقشه‌های نیاز آبی برای ذرت علوفه‌ای و ذرت دانه‌ای

دقت متفاوتی را ارایه می‌کنند (Creutin and Obled., 1982 ; Isaaks and Srivastava., 1989 ; Weber and England., 1996 ; Martinez-Cob., 1994)، بنابراین ضروری است تا هم روش‌های قطعی و هم روش‌های زمین‌آماری در درون‌یابی داده‌ها مورد استفاده قرار گیرد و بهترین روش انتخاب گردد. بنابراین در این تحقیق تهیه نقشه نیاز آبی ذرت در بازه‌های زمانی 10 روزه طی دوره رشد با استفاده از روش‌های قطعی (IDW, GPI, LPI و RBF) و روش‌های زمین‌آماری (کریجینگ معمولی، کریجینگ عام) مدنظر قرار گرفت.

هم‌زمان با توسعه مطالعات آنالیز مکانی در زمین‌شناسی، این روش در اقلیم‌شناسی، هیدرولوژی، مطالعات تبخیر - تعرق و نیاز آبی استفاده شده است. در این راستا یانگ و همکاران نقشه‌های تبخیر - تعرق مرجع دشت هوانگ-هوای-های¹ در چین را با استفاده از روش کریجینگ تهیه نمودند. برای این منظور از داده‌های هواشناسی 51 ساله 40 ایستگاه هواشناسی استفاده کردند و تبخیر - تعرق مرجع با استفاده از روش فائو - پنمن - مانیتث محاسبه شد. نتایج آن‌ها نشان داد که کمینه، میانگین و بیشینه سالانه ETo به ترتیب 931/8، 1037/7 و 1155/5 میلی‌متر بود (Yang et al., 2013). رضیعی و پریرا نقشه‌های توزیع مکانی تبخیر - تعرق مرجع و دما را در کل ایران با استفاده از روش‌های زمین‌آماری تهیه نمودند. تبخیر - تعرق مرجع با استفاده از داده‌های 15 ساله بین سال‌های 1991 تا 2005 مربوط به 148 ایستگاه هواشناسی و به روش فائو - پنمن - مانیتث بدست آمد. درون‌یابی داده‌ها به روش کریجینگ معمولی و مدل نیم-تغییرنمای کروی انجام شد. نقشه‌ها نشان دادند که مقدار ETo یک روند افزایش تدریجی را از شمال به سمت جنوب کشور دارا بود. میزان ETo سالانه از 800 میلی‌متر در مناطق مرطوب ساحلی دریای خزر تا 2400 میلی‌متر مناطق بیابانی بسیار خشک شرقی تغییر می‌کرد (Raziei and Pereira., 2013). همچنین توانا و همکاران (1390) نقشه‌های تبخیر - تعرق مرجع در استان خوزستان را با استفاده از داده‌های 39 ایستگاه هواشناسی تهیه کردند. ETo ماهانه با استفاده از دو روش پنمن - مانیتث - فائو و بلانی - کریدل محاسبه شد. در ایستگاه‌های سینوپتیک که از نظر داده‌های اقلیمی کامل بوده، هر دو روش اجرا شده و رابطه‌ی بین آن‌ها محاسبه گردید که برای برآورد ETo در ایستگاه‌های غیرسینوپتیک استفاده شد. درون‌یابی با استفاده از دو روش کریجینگ و کوکریجینگ با متغیر کمکی ارتفاع ایستگاه انجام شد. نتایج نشان داد در دو مقیاس ماهانه و سالانه، به جز دو ماه فروردین و آبان، پیش‌بینی‌های حاصل از روش درون‌یابی کریجینگ در اولویت قرار گرفت. نتایج پهنه‌بندی به روش کریجینگ در مقیاس سالانه نشان داد میزان ETo در 21 درصد از سطح استان که در

روزه و از 1 اردیبهشت تا 31 مرداد در نظر گرفته شد.

مدنظر قرار گرفت. طبق نظر کارشناسان و کشاورزان محلی دوره رشد ذرت علوفه‌ای 93 روزه از 1 اردیبهشت تا 31 تیر و ذرت دانه‌ای 124



شکل 1- نقشه دیجیتالی ارتفاعی (DEM) منطقه و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی

شاخص خطا نیز مقدار مجموع مربعات باقیمانده (RSS)¹ به صورت معادله 4 می‌باشد. برای دستیابی به شاخص RSS ابتدا مقدار متغیر در یک نقطه از n نقطه معلوم از مسیر محاسبات تخمین حذف شده و با استفاده از مدل برازش شده، مقدار متغیر در آن نقطه تخمین زده می‌شود و اختلاف آن با مقدار واقعی محاسبه می‌گردد که این اختلاف، باقی‌مانده نامیده می‌شود.

$$RSS = \sum_{i=1}^n (Z(x_i) - Z^*(x_i))^2 \quad i=1, \dots, n \quad (4)$$

که در این معادله $Z^*(x_i)$ مقدار تخمین زده شده با استفاده از مدل نیم‌تغییر نما برای داده $Z(x_i)$ می‌باشد. مقدار نیم‌تغییر نما در نقطه $h=0$ را اثر قطعه‌ای (Nugget) گویند. اثر قطعه‌ای همان واریانس تصادفی متغیر می‌باشد و در حالت ایده‌آل باید صفر گردد. اما در واقعیت این اتفاق نمی‌افتد و این موضوع به دلیل خطاهایی از جمله خطای نمونه‌برداری، خطای اندازه‌گیری و یا خطای آنالیز داده‌ها می‌باشد (Oliver and Webster., 2014). همچنین در جایی که مدل نیم‌تغییر نما به حد ثابتی برسد مقدار نیم‌تغییر نما را سقف یا آستانه (Sill) و فاصله آن را شعاع تاثیر (Range) می‌گویند (Isaaks and Srivastava., 1989). اولیور و وبستر (Oliver and Webster., 2014) اخیراً استفاده از نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه (Nugget/Sill) را که قبلاً توسط کامباردلا و همکاران (Cambardella et al., 1994) به‌عنوان شاخصی برای همبستگی

برای انجام آنالیزهای زمین آماری ابتدا تابع توزیع داده‌ها بررسی شد. این کار با استفاده از نرم افزار SPSS و روش Kolmogorov-Smirnov انجام شد و مشخص شد که داده‌ها دارای توزیع نرمال بوده‌اند. سپس داده‌ها با استفاده از ابزار Trend Analysis در نرم افزار ArcGIS9.3 روندیابی شدند و مشخص شد که داده‌ها دارای روند از نوع تابع چند جمله‌ای درجه 2 می‌باشند. در نتیجه برای استفاده از روش کریجینگ معمولی داده‌ها روندزدایی شدند. سپس مقادیر نیم‌تغییر نمای داده‌ها طبق روش ماترون (Matheron., 1965) و نرم افزار GS+ 5.3 محاسبه شد. نیم‌تغییر نما همبستگی مکانی داده‌ها را طبق معادله 3 بررسی می‌کند:

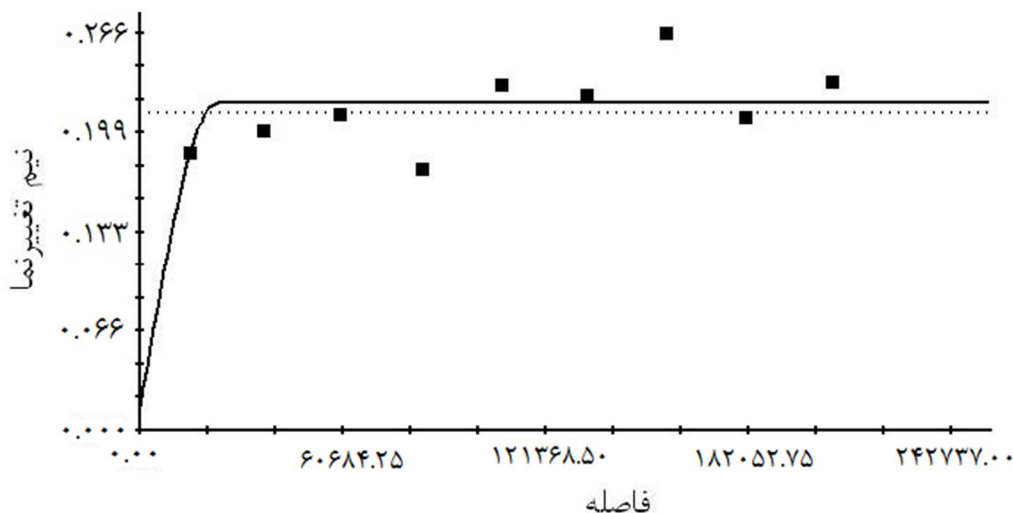
$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

که در آن $Z(x_i)$ مقدار متغیر مکانی در نقطه x_i ، $Z(x_i + h)$ مقدار متغیر مکانی در نقطه $x_i + h$ ، $N(h)$ تعداد جفت داده‌ها با فاصله h و $\gamma(h)$ نیم‌تغییر نما است.

سپس مقادیر نیم‌تغییر نما در مقابل فاصله ترسیم شدند که نمودار نیم‌تغییر نمای تجربی بدست آمد. از آنجایی که نیم‌تغییر نمای تجربی نمی‌تواند به‌صورت معادلات ریاضی بیان شود، بنابراین قابل استفاده برای درون‌یابی نمی‌باشد. در نتیجه مدل‌های مختلف نیم‌تغییر نما شامل مدل‌های کروی، گوسی، نمایی و خطی (Delhomme., 1978) بر آن‌ها برازش شد (که نمونه‌ای از آن در شکل 2 مشاهده می‌شود) و بهترین مدل بر اساس کم‌ترین مقدار خطا (خطای برازش مدل نیم‌تغییر نما بر داده‌های نیم‌تغییر نما) انتخاب شد.

بیان کردند که هر چه نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه بیش‌تر باشد، مقدار هموارسازی تغییرات بیش‌تر خواهد بود (Oliver and Webster., 2014).

مکانی داده‌ها بیان نمودند را زیر سوال برده و بیان داشتند که هر چند این نسبت نقش مهمی در تخمین‌ها دارند و مقدار زیاد آن می‌تواند به دلیل خطای اندازه‌گیری، تعداد کم نمونه‌ها و یا هر دو مورد باشد، اما این نسبت به همبستگی مکانی داده‌ها ارتباطی ندارد. همچنین آن‌ها



شکل 2- نیم تغییر نما ی تجربی و مدل کروی برازش شده بر آن داده‌های نیاز آبی ذرت در دهه اول مرداد ماه

درون‌یابی موردنظر تخمین زده شد. پس از آن مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده در مقابل یکدیگر ترسیم شد (شکل 3) که اختلاف آن‌ها با شاخص ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) به صورت معادله 5 بیان شد.

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \{Z^*(x_j) - Z(x_j)\}^2 \right]^{0.5} \quad (5)$$

که در این معادله $Z^*(x_j)$ مقدار پیش‌گویی برای داده $Z(x_j)$ می‌باشد. هر چه قدر مقدار این شاخص به صفر نزدیک‌تر باشد، مناسب‌تر است.

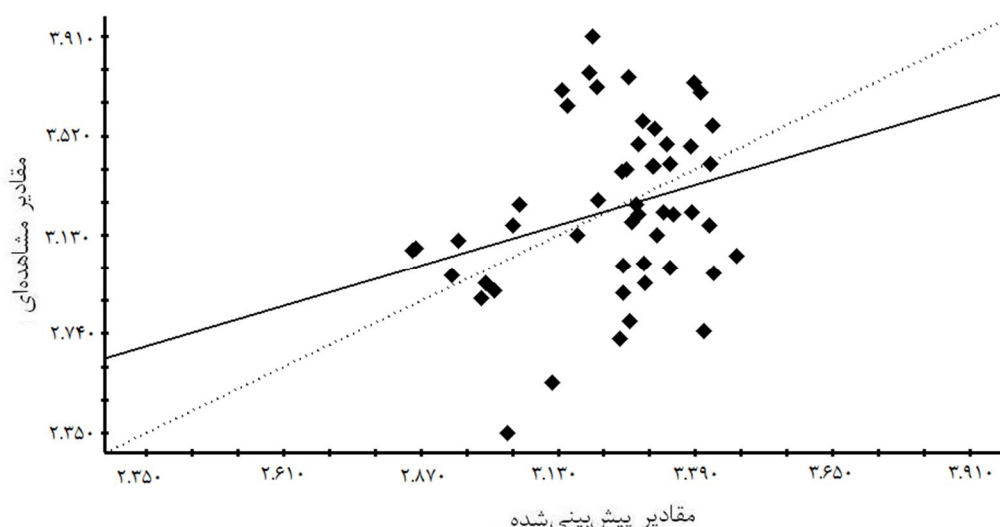
همچنین با استفاده از روش‌های زمین‌آماری می‌توان مشخص نمود که درون‌یابی‌ها بیش‌برآورد یا کم‌برآورد است. این امر با استفاده از شاخص ریشه میانگین مربع استاندارد شده خطا (RMSSE) به صورت معادله 6 بدست می‌آید.

$$RMSSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left\{ \frac{Z^*(x_j) - Z(x_j)}{\sigma(x_j)} \right\}^2 \right]^{0.5} \quad (6)$$

که در آن $Z^*(x_j)$ مقدار پیش‌گویی برای داده $Z(x_j)$ با انحراف معیار (σ) می‌باشد. هر چه مقدار شاخص RMSSE به یک نزدیک‌تر باشد، مناسب‌تر است. اگر مقدار آن بیش‌تر از یک باشد، پیش‌بینی‌ها کم‌برآورد است و اگر کم‌تر از یک باشد، پیش‌بینی‌ها بیش‌برآورد می‌باشد.

در برازش مدل‌های نیم‌تغییر نما، ناهمسانگردی داده‌ها نیز بررسی شد. ناهمسانگردی تغییرات شعاع تاثیر یا سقف نیم‌تغییر نما در جهت‌های مختلف را بیان می‌کند. اگر مقدار نیم‌تغییر نما در جهت‌های مختلف دارای شعاع تاثیر متفاوت باشد، آن را ناهمسانگردی هندسی (Geometric anisotropy) گویند که اغلب این ناهمسانگردی در داده‌ها اتفاق می‌افتد (Oliver and Webster., 2014) و اگر مقدار نیم‌تغییر نما در جهت‌های مختلف دارای سقف متفاوت باشد، آن را ناهمسانگردی منطقه‌ای (Regional anisotropy) گویند. برای تعیین وجود یا عدم وجود ناهمسانگردی در این تحقیق نیم‌تغییر نما در جهت‌های مختلف (0, 45, 90 و 135 درجه جغرافیایی از سمت شمال جغرافیایی در جهت حرکت عقربه‌های ساعت) ترسیم و بررسی شد. در مواردی که داده‌ها ناهمسانگرد بوده‌اند، از توابع تبدیلی (Transformation function) برای همسانگرد ساختن تغییرات استفاده شد (Oliver and Webster., 2014) که این کار در نرم افزار ArcGIS انجام شد.

سپس برای درون‌یابی داده‌های مختلف قطعی (RBF, LPI, GPI, IDW) و زمین‌آماری (کریجینگ معمولی، کریجینگ عام و کوکریجینگ) مدنظر قرار گرفت. برای تعیین میزان خطای درون‌یابی، از روش ارزیابی متقابل (Cross validation) استفاده شد. در این روش ابتدا مقدار متغیر در یک نقطه از n نقطه معلوم، از مسیر محاسبات تخمین حذف گردید و سپس مقدار آن با استفاده از روش



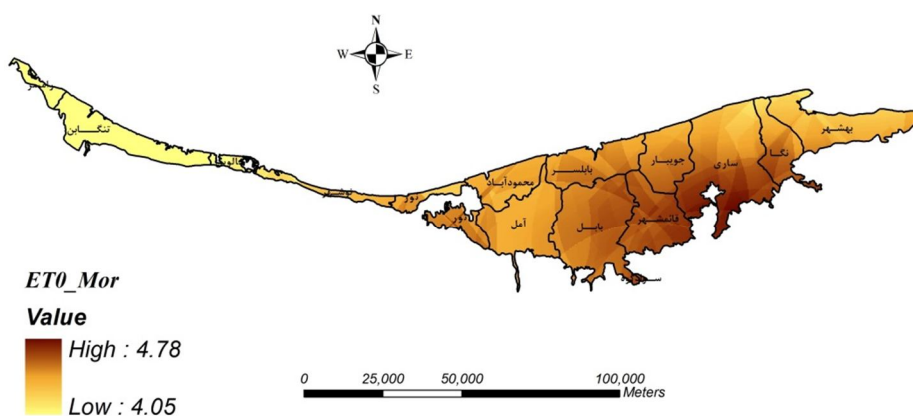
شکل 3- نمودار ارزیابی متقابل برای داده‌های نیاز آبی ذرت در دهه اول خرداد

نتایج و بحث

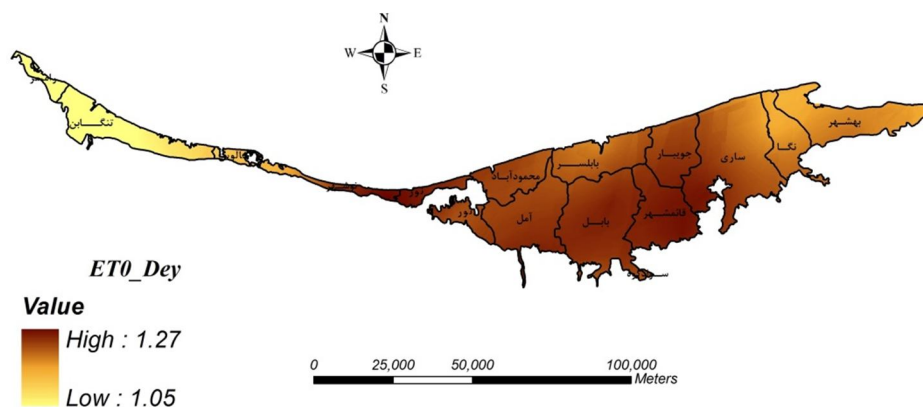
قدرت تبخیرکنندگی کم‌تر اتمسفر مناطق غربی نسبت به مناطق شرقی می‌شود.

نقشه‌های تهیه شده نشان می‌دهد که مقدار ET0 سالیانه در استان مازندران بین 897/2 تا 1102/3 میلی‌متر تغییر می‌کند که 10 تا 12 درصد بیش‌تر از نتایج تحقیق رضیئی و پریرا (Raziei and Pereira., 2013) می‌باشد. در تحقیق رضیئی و پریرا، ET0 با استفاده از میانگین ماهانه داده‌های اقلیمی سال‌های 1991 تا 2005 بدست آمده بود که مقدار سالیانه ET0 در مناطق ساحلی دریای خزر را 800 تا 1000 میلی‌متر برآورد نمودند. همچنین نتایج این تحقیق با تحقیق معصوم‌پور سماکوش و همکاران (1393)، 22 تا 50 درصد اختلاف دارد.

در این تحقیق علاوه بر نقشه‌های نیاز آبی، نقشه‌های تبخیرتعرق مرجع (ET0) نیز طبق روش بیان شده تهیه شده است. نقشه‌های ET0 نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار ET0 در ماه مرداد حاصل شد که در دامنه 4/05-4/78 میلی‌متر در روز بدست آمد (شکل 4). همچنین کم‌ترین مقدار آن در ماه دی و در دامنه 1/05-1/27 میلی‌متر در روز حاصل شد (شکل 5). میانگین سالیانه مقدار ET0 نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار ET0 در ایستگاه بلده با مقدار 3/33 میلی‌متر در روز و کم‌ترین مقدار ET0 در ایستگاه رامسر با مقدار 2/21 میلی‌متر در روز رخ داده است. یکی از دلایل آن می‌تواند باریک بودن کرانه غربی جلگه مازندران و نزدیک بودن کوه به دریا باشد که باعث تفاوت در پارامترهای اقلیمی از جمله رطوبت نسبی و در نتیجه



شکل 4- نقشه تبخیر - تعرق مرجع در ماه مرداد در استان مازندران (میلی‌متر)



شکل 5- نقشه تبخیر - تعرق مرجع در ماه دی در استان مازندران (میلی‌متر)

مکانی خواهد بود (حسینی‌پاک، 1377). بنابراین با توجه به این‌که مدل‌های کروی و نمایی در نزدیکی مبدا رفتار تقریباً خطی دارند، میزان پیوستگی مکانی داده‌های نیاز آبی ذرت در این تحقیق متوسط می‌باشد. همچنین ناهمسانگردی نیز در اغلب دهه‌ها وجود داشت که نوع آن ناهمسانگردی هندسی بوده است که طبق نظر اولیور و وبستر (Oliver and Webster., 2014) در اغلب داده‌ها این نوع ناهمسانگردی هم وجود دارد. به عبارت دیگر مدل نیم‌تغییرنمای مورد نظر در جهت‌های مختلف، دارای شعاع تاثیر مختلف می‌باشد. بنابراین درون‌یابی با در نظر گرفتن این مورد و پس از همسانگرد کردن داده‌ها توسط نرم‌افزار ArcGIS انجام شد. زاویه ناهمسانگردی نیز زاویه‌ای نسبت به شمال جغرافیایی در جهت حرکت عقربه‌های ساعت است که همبستگی مشخصی برای داده‌ها در آن جهت وجود دارد.

معصوم‌پور سماکوش و همکاران (1393)، ET0 را برای کل ایران با استفاده از داده‌های هواشناسی 29 ساله 1981-2009 مربوط به 50 ایستگاه سینوپتیک بدست آوردند. ET0 سالیانه در آن تحقیق برای اراضی کشاورزی مازندران در مناطق غربی 600-700 و برای مناطق میانی استان 700-800 و برای مناطق شرقی 800-900 میلی‌متر بدست آمده بود.

همچنین آنالیز نیم‌تغییرنمای داده‌های نیاز آبی ذرت در دوره‌های 10 روزه نشان داد که بهترین مدل نیم‌تغییر نما، مدل‌های کروی و نمایی بوده است (جدول 1). این امر بیانگر آن است که میزان پیوستگی مکانی این داده‌ها متوسط می‌باشد. زیرا میزان پیوستگی هر متغیر مکانی را می‌توان از رفتار مدل نیم‌تغییرنمای آن در نزدیکی مبدا مختصات مشخص نمود. بطوری‌که هر چه شیب مدل نیم‌تغییر نما در نزدیکی مبدا کم‌تر باشد، دلالت بر وجود پیوستگی بیش‌تر متغیر

جدول 1- نتایج آنالیز نیم‌تغییرنمای داده‌های نیاز آبی ذرت

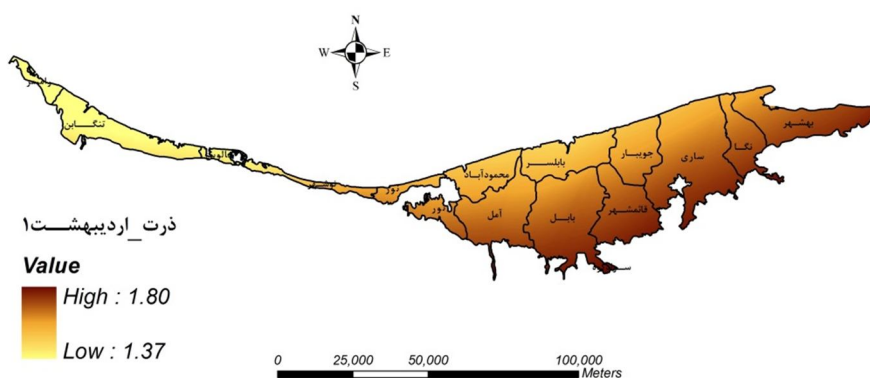
RSS	شعاع تاثیر کوچک‌تر (متر)	شعاع تاثیر بزرگ‌تر (متر)	مدل نیم‌تغییرنما	زاویه ناهمسانگردی	ناهمسانگردی	ماه
10×10^{-3}	97828/4	256326	کروی	30/4	دارد	اردیبهشت _ دهه اول
10×10^{-3}	97828/4	256326	کروی	30/4	دارد	اردیبهشت _ دهه دوم
21×10^{-3}	97829/8	256326	کروی	30/2	دارد	اردیبهشت _ دهه سوم
123×10^{-3}	95852/7	284091	کروی	20/8	دارد	خرداد _ دهه اول
289×10^{-3}	95861/8	284088	کروی	21/2	دارد	خرداد _ دهه دوم
495×10^{-3}	95874	284085	کروی	21/1	دارد	خرداد _ دهه سوم
145×10^{-2}	105914	206182	نمایی	11/3	دارد	تیر _ دهه اول
145×10^{-2}	105914	206182	نمایی	11/3	دارد	تیر _ دهه دوم
145×10^{-2}	105914	206182	نمایی	11/3	دارد	تیر _ دهه سوم
$4/96 \times 10^{-3}$	--	45703/1	کروی	--	ندارد	مرداد _ دهه اول
$3/97 \times 10^{-3}$	--	45703/1	کروی	--	ندارد	مرداد _ دهه دوم
$3/46 \times 10^{-3}$	--	45703/1	کروی	--	ندارد	مرداد _ دهه سوم

روش‌های عینی (Exact) داشتند. همچنین روش‌های قطعی سراسری (Global) بهتر از روش‌های موضعی (Local) بودند. این بدان معنی است که در روش‌های قطعی استفاده از تمام داده‌ها بهتر از استفاده از بخشی از داده‌ها جهت درون‌یابی است. تهیه نقشه با استفاده از هر یک از دو روش GPI و کریجینگ معمولی تفاوت معناداری در میزان دقت نقشه‌ها ندارد. اما با توجه به مزیت‌های روش‌های زمین آماری از جمله تعیین بیش‌برآورد یا کم-برآورد بودن، نقشه‌های مورد نظر در این تحقیق با استفاده از روش کریجینگ معمولی تهیه شدند که برخی از آن‌ها در شکل‌های 6، 7، 8 و 9 ارایه گردید.

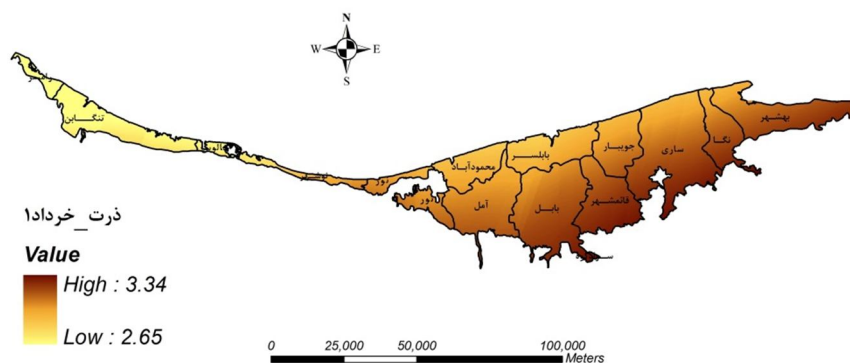
برای استفاده از روش کوکریجینگ، داده کمکی ارتفاع ایستگاه‌ها مدنظر قرار گرفت. اما همبستگی این داده با داده‌های نیاز آبی کم‌تر از 20٪ بوده است. بنابراین استفاده از آن امکان‌پذیر نبود. در نتیجه روش کوکریجینگ قابل استفاده در این تحقیق نبوده است. برای روش IDW مقادیر مختلف توان تست شد و توان 1 کم‌ترین خطا را دارا بود که نتایج مربوط به آن در جدول 2 ارائه گردید. مقدار خطای درون‌یابی در همه دوره‌های 10 روزه با استفاده از شاخص RMSE محاسبه گردید که نتایج آن در جدول 2 نشان داده شده است. مقادیر RMSE نشان می‌دهد که روش‌های GPI و کریجینگ معمولی نتایج مشابهی داشتند و خطای کم‌تری را نسبت به بقیه روش‌ها دارا بودند. روش‌های غیرعینی (Inexact) نیز نتایج بهتری را نسبت به

جدول 2- مقادیر RMSE روش‌های قطعی و زمین آماری در درون‌یابی نیاز آبی ذرت (میلی‌متر)

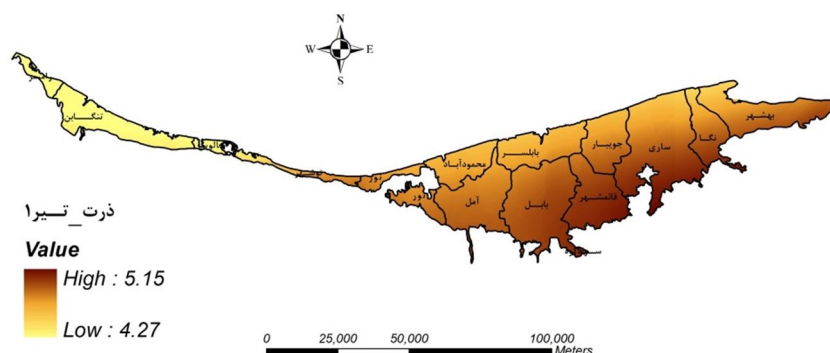
RBF (Thin plate spline)	LPI	GPI	IDW	کریجینگ عام	کریجینگ معمولی	ماه
0/394	0/216	0/191	0/197	0/206	0/196	اردیبهشت _ دهه اول
0/394	0/216	0/191	0/197	0/206	0/196	اردیبهشت _ دهه دوم
0/465	0/26	0/226	0/232	0/243	0/231	اردیبهشت _ دهه سوم
0/795	0/389	0/324	0/348	0/353	0/329	خرداد _ دهه اول
0/981	0/483	0/401	0/431	0/437	0/407	خرداد _ دهه دوم
1/122	0/553	0/460	0/494	0/503	0/467	خرداد _ دهه سوم
1/242	0/626	0/516	0/545	0/553	0/527	تیر _ دهه اول
1/242	0/626	0/516	0/545	0/553	0/527	تیر _ دهه دوم
1/242	0/626	0/516	0/545	0/553	0/527	تیر _ دهه سوم
1/12	0/595	0/477	0/502	0/502	0/489	مرداد _ دهه اول
1/07	0/567	0/455	0/480	0/480	0/467	مرداد _ دهه دوم
1/023	0/546	0/438	0/460	0/461	0/449	مرداد _ دهه سوم



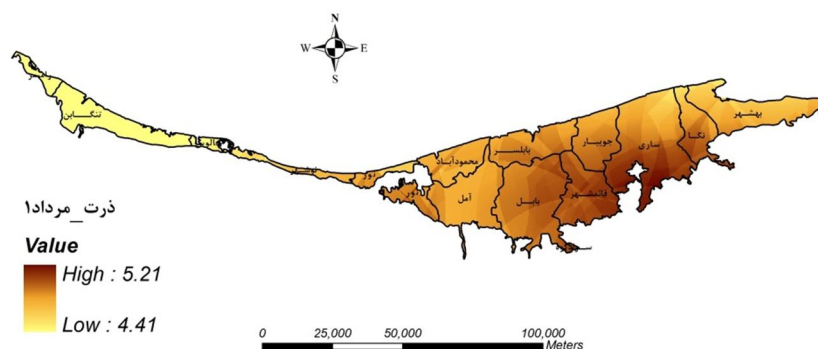
شکل 6- نقشه نیاز آبی ذرت در دهه اول اردیبهشت در استان مازندران (میلی‌متر)



شکل 7- نقشه نیاز آبی ذرت در دهه اول خرداد در استان مازندران (میلی‌متر)



شکل 8- نقشه نیاز آبی ذرت در دهه اول تیر در استان مازندران (میلی‌متر)



شکل 9- نقشه نیاز آبی ذرت در دهه اول مرداد در استان مازندران (میلی‌متر)

مطالعاتی بین 2419 مترمکعب در هکتار در ایستگاه رامسر تا 3908 مترمکعب در هکتار در ایستگاه بلده تغییر می‌کند. میزان کل نیاز آبی ذرت دانه‌ای نیز در ایستگاه‌های مطالعاتی بین 3569 مترمکعب در هکتار در ایستگاه رامسر تا 5488 مترمکعب در هکتار در ایستگاه بلده تغییر می‌کند. قیاس نتایج این تحقیق با نتایج ایستگاه دشت ناز تنها

نقشه‌های تهیه شده نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان نیاز آبی ذرت علوفه‌ای در تیرماه حاصل شد که مقدار آن بین 4/27-5/15 میلی‌متر در روز بدست آمد. برای ذرت دانه‌ای نیز بیش‌ترین میزان در دهه اول مردادماه حاصل شد که مقدار آن 4/41-5/21 میلی‌متر در روز بدست آمد. میزان کل نیاز آبی ذرت علوفه‌ای در ایستگاه‌های

بر دوره رشد متفاوت، تاریخ کشت در سند ملی نیز متفاوت در نظر گرفته شده است. در سند ملی دوره رشد ذرت دانه ای 103 روزه از 1 خرداد تا 10 شهریور در نظر گرفته شده است. در حالی که دوره رشد ذرت دانه ای در منطقه تقریباً 120 روزه است. همچنین تاریخ کشت در کشت بهاره اوایل اردیبهشت ماه می باشد. بنابراین در این تحقیق دوره رشد ذرت دانه ای 124 روزه از 1 اردیبهشت تا 31 مرداد در نظر گرفته شد که این موضوع با نظر کارشناسان و کشاورزان محلی در نظر گرفته شده است و قابل اطمینان می باشد. همچنین در این تحقیق نیاز آبی با استفاده از داده های هواشناسی جدیدتری محاسبه شده است که می تواند یکی دیگر از دلایل اختلاف نیاز آبی محاسباتی و پیش بینی شده با مقادیر کتاب مرجع و سند ملی باشد.

ایستگاه مورد مطالعه در کتاب مرجع نشان می دهد که نیاز آبی محاسبه شده و پیش بینی شده در این تحقیق برای ذرت علوفه ای 45/8 و 45 درصد کم تر می باشد (جدول 3). یکی از دلایل اختلاف آن است که نیاز آبی برآورد شده در کتاب مرجع، محاسبه شده برای دوره کشت 144 روزه است. در صورتی که ذرت علوفه ای کشت شده در منطقه مورد نظر دارای دوره کشت تقریباً 90 روزه می باشد که در این تحقیق 93 روزه در نظر گرفته شده است.

همچنین قیاس نتایج این تحقیق با نتایج ایستگاه دشت ناز مورد مطالعه در سند ملی نشان می دهد که نیاز آبی محاسبه شده و پیش بینی شده در این تحقیق برای ذرت دانه ای 71/9 و 75 درصد بیش تر می باشد (جدول 3). یکی از دلایل اختلاف آن است که علاوه

جدول 3- مقایسه نیاز آبی برآورد شده ذرت در این تحقیق با منابع موجود در ایستگاه دشت ناز

نیاز آبی محاسبه شده در ایستگاه در کتاب مرجع (میلی متر)	نیاز آبی محاسبه شده در ایستگاه در سند ملی (میلی متر)	نیاز آبی محاسبه شده در ایستگاه در این تحقیق (میلی متر)	نیاز آبی پیش بینی شده در ایستگاه در این تحقیق (میلی متر)	اختلاف داده پیش-بینی شده با منابع (درصد)	اختلاف داده (درصد)
591/2	--	320/3	324/8	-45	-45/8
--	268	460/7	469/0	+75	+71/9

کشت نمی شود. نقشه ای مبنی بر این که دقیقاً کدام مناطق تحت کشت ذرت می باشد وجود ندارد. در نتیجه نقشه ها برای کل مناطق قابل کشاورزی تهیه شده است و برای هر منطقه ای که کشت ذرت در آن انجام شود، می توان نیاز آبی را استخراج نمود.

مقادیر RMSSE این درون یابی در جدول 4 ارایه شد. از آن جایی که مقدار آن در تمام دهه ها بیش تر از یک است، در نتیجه پیش بینی ها کم برآورد می باشند. نقشه های مربوطه برای محدوده اراضی زراعی استان مازندران تهیه شدند. باید توجه داشت که ذرت در کل استان

جدول 4- مقادیر RMSSE روش کریجینگ معمولی در درون یابی نیاز آبی ذرت

اردیبهشت			خرداد			تیر			مرداد		
دهه اول	دهه دوم	دهه سوم	دهه اول	دهه دوم	دهه سوم	دهه اول	دهه دوم	دهه سوم	دهه اول	دهه دوم	دهه سوم
1/24	1/243	1/172	1/17	1/171	1/172	1/11	1/11	1/109	1/11	1/11	1/109

دهه نیز در جدول 5 ارایه گردیده است.

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان می دهد که منابع موجود در رابطه با مقادیر نیاز آبی گیاهان، نیاز به بازنگری و به روز شدن دارند. همچنین وجود منابع مختلف با مقادیر متفاوت موجب سردرگمی بهره برداران می گردد. بنابراین لازم است سازمان های مختلف ضمن انجام بحث های کارشناسی و قبول یک رویه واحد در محاسبات، حساسیت لازم جهت استفاده از داده های قابل اطمینان، کنترل دقیق داده های

از طرفی دیگر تحلیل خطا نیز برای این محاسبات انجام شده است. برای این منظور نقشه های خطای استاندارد در همه دوره های 10 روزه در طی دوره رشد تهیه شده است. میزان خطای استاندارد با استفاده از فرمول 7 بدست می آید که در آن s میزان انحراف معیار جامعه یا نمونه است و n تعداد کل نمونه می باشد.

$$SE = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

این نقشه ها میزان عدم قطعیت مقادیر پیش بینی شده را نشان می دهد. نقشه ها نشان داد که در مناطقی که تراکم تعداد ایستگاه ها کم تر بود، میزان خطا بیش تر است. میانگین خطای استاندارد در هر

مورد استفاده و استفاده از اطلاعات کارشناسان و کشاورزان محلی را

داشته باشند.

جدول 5- مقادير خطای استاندارد مقادير پيش‌بینی شده در درون‌یابی نیاز آبی ذرت

اردبیهشت			خرداد			تیر			مرداد		
دهه اول	دهه دوم	دهه سوم	دهه اول	دهه دوم	دهه سوم	دهه اول	دهه دوم	دهه سوم	دهه اول	دهه دوم	دهه سوم
0/15	0/15	0/18	0/27	0/34	0/39	0/44	0/44	0/44	0/44	0/42	0/40

35: 1- 12.

شريفان، ح و قهرمان، ب. 1385. بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی تبخیر - تعرق در استان گلستان با استفاده از سیستم GIS. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب. اصفهان.

عرفانیان، م،، عزیزاده، ا و محمدیان، ا. 1389. بررسی تغییرات احتمالی نیاز کنونی آبیاری گیاهان نسبت به ارقام مندرج در سند ملی آبیاری (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. 3. 478-492.

عیوضی، م و مساعدی، ا. 1390. بررسی الگوی گسترش مکانی بارش در سطح استان گلستان با استفاده از مدل‌های قطعی و زمین آماری، نشریه آب و خاک، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. 26. 1: 64-53.

فرشی، ع، ا، شریعتی، م، ر، جباراللهی، ر، قائمی، م، ر، شهبابی، فر، م و تولایی، م، م. 1376. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور. جلد اول (گیاهان زراعی). انتشارات نشر آموزش کشاورزی وابسته به معاونت آموزش و تجهیز نیروی انسانی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، چاپ نخست.

فولادمنده، ح، ر. 1390. تخمین نیاز آبیاری گیاهان زراعی مهم استان فارس در سطوح گوناگون احتمال. مجله مهندسی منابع آب، 4. 9: 73-65.

قلی‌زاده، ح،، عبادزاده، ح، ر،، حاتمی، ف،، حسین‌پور، ر،، محیطی، ض،، فضلی استبرق، م،، رضایی، م، م، عرب، ح،، کاظمی‌فرد، ر،، فضلی، ب،، عبدشاه، ه،، سفیدی، ه،، رفیعی، م و کاظمیان، ا. 1393. آمارنامه محصولات زراعی (سال زراعی 92-1391)، انتشارات وزارت جهاد کشاورزی (معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات).

گنجی‌زاده، ر،، برومند نسب، س،، سلطانی محمدی، ا و گنجی‌زاده، ح. 1392. تعیین تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش‌های درون-یابی و مقایسه آن با روش‌های تجربی (مطالعه موردی: استان گلستان)، اولین همایش ملی بحران آب، اصفهان.

محاسبات نیز در هر دوره چند ساله، به روز گردد. همچنین ممکن است نقشه‌ای از موقعیت دقیق مناطق کشت شده برخی از محصولات در دسترس نباشد و بر اساس سیاست‌های کلان و یا تناوب کشت، این محصولات در سال‌های مختلف در مناطق مختلف کشت شوند. بنابراین ضروری است نیاز آبی آن‌ها در مناطق مختلف یک استان تعیین شود تا در صورت نیاز، گزارش نیاز آبی آن‌ها موجود باشد که در این راستا تهیه نقشه‌های نیاز آبی با توجه به سهولت بهره‌برداری از آن‌ها می‌تواند ابزار مناسبی برای استفاده کشاورزان باشد. شایان ذکر است که در تهیه این نقشه‌ها و درون‌یابی داده‌ها، از روش‌های قطعی و زمین‌آماري استفاده و نتایج مقایسه گردند و از بهترین روش با کم‌ترین خطا برای تهیه نقشه‌ها استفاده گردد. نقشه‌ها و لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده از این روش، قابلیت به روز شدن با استفاده از داده‌های هواشناسی جدید را دارند و می‌توانند اساس برنامه‌ریزی و مدیریت عرضه آب برای کشت هر محصول قرار گیرند.

منابع

بهبهانی، م، ر، رحیمی‌خوب، ع، نظری‌فر، م، ه و مومنی، ر. 1387. برآورد مکانی و زمانی نیاز آبی گندم در دوره‌های آبی مختلف با استفاده از روش‌های زمین آماری - مطالعه موردی استان همدان. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. اهواز. بی‌نام. 1378. سند ملی آب کشور (ایران)، نیاز آبی گیاهان، الگوی کشت، راندمان آبیاری، وزارت جهاد کشاورزی.

توانا، ا، هوشمند، ع، ر و فتحیان، ح. 1390. پهنه‌بندی تبخیر - تعرق مرجع منطقه‌ای با استفاده از تخمین گرهای زمین آماری و GIS (مطالعه موردی: استان خوزستان)، اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، تهران.

حسنی‌پاک، ع، ا. 1377. زمین آمار (ژئواستاتیک). چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، 314ص.

دلبری، م،، خیاط خلقی، م و مهدیان، م، ح. 1383. ارزیابی روش‌های زمین آمار در برآورد هدایت هیدرولیکی خاک در مناطق شیب آب و پشت آب پایین دشت سیستان. مجله علوم کشاورزی ایران.

- distributions: *Math Geol.* 15.3: 445-468
- Journel, A.G and Huijbregts, C.J. 1978. *Mining Geostatistics*. Academic Press, London, UK.
- Martinez-Cob, A. 1996. 'Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountain terrain. *Journal of hydrology*. 174:19-35.
- Matheron, G. 1963. *Principles of geostatistics*. *Economic geology*. 58: 1246-1266.
- Matheron, G. 1965. *La Theorie des Variables Regionalisees et ses Applications*. Massson, Paris.
- Matheron, G. 1969. *Le krigeage universel*. *Cahiers du Centre de Morphologie. Mathématique*, No 1. Ecole des Mines, Fontainebleau.
- Motz, D.S., Searcy, S.W. 1993. Interpolation methods for spatially variable data. *ASAE Paper*. 93.3561:1-12.
- Oliver, M.A and Webster, R. 2014. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Journal of Catena*. 113: 56-69.
- Raziei, T, Pereira, L.S. 2013. Spatial variability analysis of reference evapotranspiration in Iran utilizing fine resolution gridded datasets, *Agricultural Water Management*. 126: 104- 118.
- Sousa, V and Pereira, L.S. 1999. Regional Analysis of Irrigatoin Water Requirement Using Kriging Application to Potato Crop (*Solanum tuberosum* L.) at Tras-os-montes. *Journal of Agricultural Water Management*. 40: 221-233.
- Tong, L., Kang, S and Zhang, L. 2006. Temporal and spatial variations of evapotranspiration for spring wheat in the Shiyang river basin in northwest China, *Agricultural water management*. 87. 3: 241-250.
- Weber, D and England, E. 1994. Evaluation and comparison of spatial interpolators II. *Mathematical Geology*. 26: 589-603.
- Webster, R and Oliver, M.A. 2001. *Geostatistics for environmental scientists*. John Wiley and Sons, Chichester, England. 271 pp.
- Yang, J., Liu, Q., Mei, X., Yan, C., Ju, H and Xu, J. 2013. Spatiotemporal Characteristics of Reference Evapotranspiration and Its Sensitivity Coefficients to Climate Factors in Huang-Huai-Hai Plain, China, *Journal of Integrative Agriculture*. 12.12: 2280-2291.
- معصوم پور سماکوش، ج.، رجایی، س و یگانه فر، م. 1393. تغییرپذیری زمانی - مکانی و روند تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایران. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. 34: 7-25.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1990. *Crop evapotranspiration. Irrigation and Drainage Paper No.56*. F.A.O. Rome. Italy.
- Boken, V.K., Hoogenboom, G., Hook, J.E., Thomas, D.L., Guerra, L.C and Harrison, K.A. 2004. Agricultural water use estimation using geospatial modeling and a geographic information system. *Agricultural Water Management*. 67: 185-199.
- Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F and Konopka, A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils, *Soil science society of America journal*. 58:1501-1511.
- Christakos, A.G. 2000. *Modern spatiotemporal geostatistics*, Oxford University press. Oxford.
- Creutin, J.D and Obled, C. 1982. Objective analyses and mapping techniques for rainfall fields: An objective comparison. *Water resources research*. 18. 2: 413-431.
- Dean, J.D., Snyder, W.M. 1997. Temporally and areally distributed rainfall. *Journal of irrigation and drainage engineering*, ASCE 103: 221-229.
- Delhomme, J.P. 1978. Kriging in hydrosiences. *Journal of Advances in Water Resources*. 1.5: 251-266.
- Earl, H.J and Davis, R.F. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy Journal*. 95:688-696.
- Johnston, K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K. and Lucas, N. 2003. *ArcGIS9: Using ArcGIS Geostatistical Analyst, The ESRI guide to ArcGIS Analyst*. ESRI, 380 New York Street, Redlands, CA 92373-8100, USA.
- FAO. 2013. *Food and Agriculture Organization*.
- Goovaerts, P. 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, New York.
- Isaaks, E.H and Srivastava, R.M. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press. New York. P.561.
- Journel, A.G. 1983. Nonparametric estimation of spatial

Preparation of Water Requirement Maps of Maize by Comparing Geostatistical and Deterministic Methods

M. I. Kamali¹, A. Faridhosseini^{2*}, H. Ansari³, M. A. Gholami Sefidkouhi⁴

Recived: July.05, 2016

Accepted: Nov.05, 2016

Abstract

Preparation of maize water requirement maps in Mazandaran province was considered in the current study. The 10-day maize water requirement firstly was computed in the weather stations postitions using the FAO 2-stage approach. Reference evapotranspiration (ET₀) was computed by FAO modified Penman-Monteith method and climate data from 51 weather stations. Crop coefficients were considered in 4 satages during growing season. To evaluate the spatial structure of the data, Trend and Aanisotropy in the data were analyzed. After computing experimental semivariances and selecting the best semivariogram model on the basis of the lower Residuals Sums of Squares (RSS), data were interpolated by deterministic (Inverse Distance Weighting, Global Polynomial Interpolator and Local Polynomial Interpolator) and geostatistical (Ordinary Kriging and Universal Kriging) methods. The interpolation accuracy was compared based on cross validation technique and showed that Global Polynomial Interpolator and Ordinary Kriging had the same results and were better than the other methods. Maps showed that the highest amount of ET₀ occurs in August (Mordad) and 4.05 to 4.78 mm/day and the lowest amount occurs in January (Dey) and 1.05 to 1.27 mm/day. Also, the highest amount of silage maize water requirement occurs in third decade of June and two first decade of July (Tir) and 4.27 to 5.15 mm/day. The highest value of maize water requirement occurs in third decade of July (Mordad) and 4.41 to 5.21 mm/day, too. The computed and predicted silage maize water requirement for Dasht-e-naz station in the current study is lower 45.8 and 45 percent than the Reference Book results. Also, the computed and predicted maize water requirement for Dasht-e-naz station in the current study is higher 71.9 and 75 percent than the National Water Document results.

Key words: Evapotranspiration, GIS, Interpolation, Semivariogram, Spatial distribution

1- PhD student, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

2- Associate professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad

3- Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad

4- Associate professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

(*-Corresponding Author, Email: farid-h@um.ac.ir)